Journal of Water and Soil
Homepage: https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 5, Dec.-Jan., 2023, p.659-672

Determination of Applied Water and Water Productivity in Barley Production in Iran

S.A. Haghayeghi Moghaddam [1]*, F. Abbasi[2], A. Nasseri[3], P. Varjavand[4], S.E. Dehghanian[5], MM. Ghasemi[6], S. Sepehri[7], H. Khosravi[8], M. Karimi[9], F. Parchami Araghi[10], M. Goodarzi[11], M. Miranzadeh[12], M. Farzamnia[13], A. Uossef Gomrokchi[14], M. Rezvani[15], R. Nikanfar[16], H. Mousavi fazl[17], A. Ghadam Firouzabadi[18]

1 and 9- Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavai Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: Sahm51@yahoo.com)
2, 6 and 7- Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
3 and 16- Agricultural Engineering Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran
4- Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahvaz, Iran
5- Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran
8- Agricultural Engineering Research Department, North Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Bojnourd, Iran
10- Agricultural Engineering Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Moghan, Iran
11- Agricultural Engineering Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Arak, Iran
12 and 13- Agricultural Engineering Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran
14- Agricultural Engineering Research Department, Ghazvin Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Qazvin, Iran
15 and 18- Agricultural Engineering Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran
17- Agricultural Engineering Research Department, Agricultural and Natural Resources Research Center Semnan province (Shahrood), AREEO, Shahrood, Iran

Received: 17-05-2023
Revised: 30-08-2023
Accepted: 09-09-2023
Available Online: 09-09-2023

How to cite this article:
Haghayeghi, S.A., Abbasi, F., Nasseri, A., Varjavand, P., Dehghanian, S.E., Ghasemi, MM., Sepehri, S., Khosravi, H., Karimi, M., Parchami Araghi, F., Goodarzi, M., Miranzadeh, M., Farzamnia, M., Uossef Gomrokchi, A., Rezvani, M., Nikanfar, R., Mousavi fazl, H., & Ghadami Firouzabadi, A. (2023). Determination of applied water and water productivity in barley production in Iran. *Journal of Water and Soil, 37*(5), 659-672. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2023.82302.1284

Introduction

The basic strategy to mitigate water crisis is to save agricultural water consumption by increasing productivity, which will result in more income for farmers and sustainable production. Due to the economic importance of barley production in the country, it is necessary to study the volume of irrigation water and water productivity to produce this strategic product. Based on extensive field research on irrigation water management and application of different irrigation methods in barley farms, the innovations of this research were: a) measuring water consumed and determining water use efficiency in barley production, b) the up-to-date of the measurements and research findings, c) findings applicability for application in agricultural planning at the national and regional levels, d) the ability to development the findings in barley farms at the national level to improve water use efficiency. The hypotheses of this research are: a) barley irrigation water is various in different regions, b) water applied in barley farms is more than the required one, c) the water use efficiency of barley is different in the main production areas, and d) The applied water of barley is not the same in different irrigation methods. Therefore, the main objective of

https://doi.org/10.22067/jsw.2023.82302.1284

this study is to determine the water consumed and water use efficiency in barley production; to measure the water applied to barley farms in the main production areas; to compare the water measured in the production areas with the net irrigation requirement; and finally to determine water use efficiency of the barley in the main production areas in the Iran.

Materials and Methods

For this purpose, the volume of irrigation water and barley yield in 296 selected farms in 12 provinces (about 75% of the area under cultivation and production of barley in Iran) including Khuzestan, East Azerbaijan, Ardabil, North Khorasan, Fars, Khorasan Razavi, Tehran, Semnan, Markazi, Isfahan, Hamedan and Qazvin were measured directly. Farms in the mentioned provinces were selected to cover various factors such as irrigation method, level of ownership, proper distribution and quality of irrigation water. By carefully monitoring the irrigation program of selected farms during the growing season, the amount of irrigation water for barley during one year was measured. At the end of the season and after determining the average yield of barley during the 2020-2021 year, the values of irrigation water productivity and total water productivity (irrigation+effective rainfall) were determined in selected barley farms in each region. The volume of water supplied was compared with the gross irrigation requirements estimated by the Penman-Monteith method using meteorological data from the last ten years, and compared with the values of the National Water Document. Analysis of variance was used to investigate the possible differences in yield, irrigation water and water productivity in barley production.

Results and Discussion

To assess the reliability of statistical analysis, we evaluated the sufficiency of the number of measurements needed for both the quantity of irrigation water and the ley yield on the farms. Subsequently, we computed statistical indices, such as the mean and standard deviation. The results showed that the number of measurements of irrigation water and barley yield was to be 296 and 283, respectively, which was more than the number of measurements required for irrigation water (41 dataset) and yield (50 dataset). Therefore, the sufficiency of the data for the statistical analysis was reliable. The results showed that the difference in yield, volume of irrigation water and water productivity indices were significant in the mentioned provinces. The volume of barley irrigation water in the studied areas varied from 1900 to 9300 cubic meters per hectare and its average weight was 4875 cubic meters per hectare. The average barley yield in selected farms varied from 1630 to 7050 kg ha^{-1} and the average was 3985 kg ha^{-1}. Irrigation water productivity in selected provinces ranged from 0.22 to 1.53 and its weight average was 0.90 kg m^{-3}. Average gross irrigation water requirement in the study areas by the Penman-Monteith method using meteorological data of the last ten years and the national water document were 4710 and 4950 cubic meters per hectare, respectively. Irrigation efficiency of barley fields in the country is estimated at 62-65% without deficit irrigation.

Conclusion

In order to reduce water consumption and improve water productivity, it is suggested to manage water delivery to farms during the season and deliver water rights to them according to crops water requirements. To reduce water losses and enhance productivity in the barley farms, it is suggested the application of modern irrigation systems according to the farms conditions with the suitable operation; and modification and improvement of surface and traditional irrigation methods. Note that, water is only one of several necessary and effective inputs in the optimal and economic production of barley. On the other hand, attention should be paid to the optimal application of other inputs including: seeds, fertilizers, equipment and tools etc.

Keywords: Barley, Irrigation water, Water productivity, Yield

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۷، شماره ۵، آذر-دی ۱۴۰۲، ص. ۶۷۲-۶۵۹

تعیین آب آبیاری و بهره‌وری آب در تولید جو در کشور

سید ابوالقاسم حقایقی مقدم[۱*]- فریبرز عباسی[۲]- ابوالفضل ناصری[۳]- پیمان ورجاوند[۴]- سیدابراهیم دهقانیان[۵]- محمدمهدی قاسمی[۶]- سالومه سپهری صادقیان[۷]- حسن خسروی[۸]- محمدکریمی[۹]- فرزین پرچمی عراقی[۱۰]- مصطفی گودرزی[۱۱]- مختار میرانزاده[۱۲]- مسعود فرزام‌نیا[۱۳]- افشین یوسف گمرکچی[۱۴]- سیدمعین‌الدین رضوانی[۱۵]- رامین نیکانفر[۱۶]- سیدحسن موسوی فضل[۱۷]- علی قدمی فیروزآبادی[۱۸]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۸

چکیده

با توجه به اهمیت اقتصادی تولید جو در کشور، بررسی حجم آب آبیاری و بهره‌وری آب برای تولید این محصول استراتژیک ضرورت دارد. به این منظور، حجم آب آبیاری و عملکرد جو در ۲۹۶ مزرعه منتخب ۱۲ استان (۷۵ درصد سطح زیرکشت آبی و تولید جو در کشور) شامل استان‌های خوزستان، آذربایجان‌شرقی، اردبیل، خراسان‌شمالی، فارس، خراسان‌رضوی، تهران، سمنان، مرکزی، اصفهان، همدان و قزوین به‌طور مستقیم اندازه‌گیری گردید. در انتهای فصل و پس از تعیین میانگین عملکرد محصول جو طی سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹، مقادیر بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب کل (آبیاری + بارندگی مؤثر) در مزارع منتخب جو در هر منطقه تعیین شد. نتایج نشان داد تفاوت عملکرد، حجم آب آبیاری و شاخص‌های بهره‌وری آب در استان‌های یادشده معنی‌دار بود. حجم آب آبیاری جو در مناطق موردمطالعه از ۱۹۰۰ تا ۹۳۰۰ متر مکعب در هکتار متغیر و میانگین وزنی آن ۴۸۷۵ متر مکعب در

---

۱ و ۹- استادیاران پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: Sahm51@yahoo.com)

۲، ۶ و ۷- به‌ترتیب استاد و استادیاران پژوهش، بخش تحقیقات آبیاری و زهکشی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۳ و ۱۶- دانشیار مربی پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ااستان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران

۴- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

۵- مربی پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

۸- محقق، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان شمالی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بجنورد، ایران

۱۰- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران

۱۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران

۱۲ و ۱۳- محقق و مربی پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

۱۴- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، قزوین، ایران

۱۵ و ۱۸- استادیار و دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

۱۷- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران

https://doi.org/10.22067/jsw.2023.82302.1284

هکتار بود. میانگین عملکرد جو در مزارع منتخب از ۱۶۳۰ تا ۷۰۵۰ کیلوگرم در هکتار متغیر و میانگین وزنی آن ۳۹۸۵ کیلوگرم در هکتار بود. بهره‌وری آب آبیاری نیز در استان‌های منتخب از ۰/۲۲ تا ۱/۵۳ متغیر و میانگین وزنی آن ۰/۹۰ کیلوگرم تعیین شد. پیشنهاد می‌شود به‌منظور کاهش مصرف آب و بهبود بهره‌وری آب، تحویل آب به مزارع در طول فصل مدیریت شود و حقابه متناسب با نیاز آبی در نظر گرفته شود. استفاده از برنامه‌ریزی مناسب آبیاری به‌طور مسلم موجب تلفات آب و افزایش بهره‌وری در مزارع جو می‌گردد. برای بهبود بهره‌وری لازم است تمام نهاده‌های مؤثر در تولید بهینه و اقتصادی ازجمله آب، بذر، کود، سم، تجهیزات و ادوات، نیروی انسانی آموزش‌دیده توجه لازم مبذول گردد.

واژه‌های کلیدی: آب مصرفی، آبیاری، بازده کاربرد، تولید جو، کارآیی مصرف آب

مقدمه

گیاه جو (*Hordium vulgare*) تقریباً در تمام کشورهای جهان کشت و تولید شده و پس از گندم، ذرت و برنج به‌عنوان چهارمین غله جهان ازنظر تولید در نظر گرفته می‌شود. در ایران، جو با سطح زیر کشت (آبی و دیم) بیش از ۱۶۶۰ هزار هکتار و با تولید بیش از ۳۸۰۰ هزار تن (۲۶۰۰ هزار تن از کشت آبی و ۱۲۰۰ هزار تن از کشت دیم) بعد از گندم، عمده‌ترین محصول زراعی می‌باشد و با توجه به سازگاری وسیع اکولوژیکی در اکثر نقاط کشور مورد کشت و کار قرار می‌گیرد (Ahmadi *et al.*, 2021). با توجه به سطح زیرکشت قابل‌توجه جو و جایگاه مهم این گیاه در ترکیب علوفه دام کشور، ارزیابی حجم آب آبیاری این محصول و سهم آب اختصاص‌یافته از منابع آب کشور در تولید جو از اهمیت زیادی برخوردار است.

آب یکی از مهم‌ترین عوامل رشد و نمو جو و سایر گیاهان است. نیاز جو به آب در ابتدای دوره رشد زیاد و تأمین رطوبت در اطراف ریشه یکی از عوامل مهم و اولیه برای رشد کامل و تولید محصول کافی در این گیاه می‌باشد. در جو حساس‌ترین مرحله رشد به تنش رطوبتی مرحله بین گرده‌افشانی و رسیدن دانه‌ها است که باعث کاهش قابل‌ملاحظه وزن هزار دانه می‌شود. در مجموع مراحل حساس رشد جو که در آن احتیاج بیشتری به آب دارد عبارت‌اند از: جوانه زدن، ساقه رفتن، تولید سنبله، گلدهی و پر شدن دانه (Sohrabi, 2015). نقدیزادگان و همکاران (Naghdyzadegan *et al.*, 2016) در آزمایشی دوساله (۲۰۱۵-۲۰۱۳) در ایستگاه تحقیقاتی باجگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، تأثیر سطوح مختلف آبیاری و ازت بر رشد و عملکرد جو (رقم ریحان) را بررسی کردند. بالاترین بهره‌وری آب دانه جو از تیمار تأمین ۷۵٪ نیاز آبی در سال اول و دوم به‌ترتیب به میزان ۱/۳۴ و ۱/۲۷ کیلوگرم بر متر مکعب حاصل شد. مقدار مصرف آب آبیاری در تیمارهای تأمین ۱۰۰٪ نیاز آبی این آزمایش، به‌ترتیب در سال اول و دوم برابر ۴۴۰۰ و ۴۸۰۰ متر مکعب در هکتار برآورد گردیده است. پیراسته و همکاران (Pirasteh-Anosheh *et al.*, 2017) در تحقیقی به بررسی تأثیر شوری آب آبیاری بر عملکرد جو، و بهره‌وری آب در مرکز ملی تحقیقات شوری یزد پرداختند. میانگین دوساله بهره‌وری آب محصول جو با شوری آب آبیاری ۲ دسی‌زیمنس بر متر برابر ۰/۸۸ کیلوگرم بر متر مکعب و با شوری آب ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر ۰/۶۴به‌دست آمد. میانگین آب مصرفی توسط گیاه در کرت‌های شاهد (شوری ۲) معادل ۷۳۰۰ متر مکعب در هکتار و در کرت‌های شور (شوری ۱۲) برابر با ۶۲۰۰ متر مکعب در هکتار گزارش شده است. الخاصی و همکاران (Alikhasi *et al.*, 2019) در تحقیق بهبود بهره‌وری آب در تولید جو با به‌کارگیری سامانه استحصال آب باران و آبیاری تکمیلی را در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تربیت مدرس مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که استفاده از سامانه جمع‌آوری آب باران موجب افزایش عملکرد و بهره‌وری آب جو نسبت به شرایط دیم شد. انجام یک‌مرتبه آبیاری تکمیلی موجب شد که بیشترین بهره‌وری آب در بین تیمارهای مختلف (۰/۶۷ کیلوگرم بر متر مکعب) به دست آمد. غلامی و همکاران (Gholami *et al.*, 2016) گزارش نموده‌اند که بهره‌وری آب آبیاری در روش‌های آبیاری بارانی برای محصول جو، ۰/۷۵ تا ۲/۵ کیلوگرم بر متر مکعب و میزان بهره‌وری آب آبیاری در آبیاری سطحی ۰/۴۳تا ۱/۴۲ کیلوگرم بر متر مکعب بود. رمضانی اعتدالی و آبابایی (Ramezani-Etedali and Ababaei, 2016) در تحقیقی به برآورد اجزاء ردپای آب مجازی در تولید جو در مقیاس ملی و استانی پرداختند. نتایج نشان داد مجموع ردپای آب در اراضی جو آبی در استان‌های منتخب بین ۲۰۸۱ متر مکعب بر تن در استان کرمانشاه تا ۴۹۸۴ متر مکعب بر تن در استان خراسان متفاوت بود. میانگین ردپای آب در تولید جو آبی در استان‌های منتخب برابر با ۳۲۰۹ متر مکعب در تن بود. جناب و نظری (Jenab and Nazari, 2019) در تحقیقی به بررسی تعیین شکاف بهره‌وری آب در استان قزوین پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد شکاف عملکرد محصول جو در استان قزوین ۵/۴ تن در هکتار و شکاف بهره‌وری آب در تولید جو ۰/۴۷ کیلوگرم بر متر مکعب بود. میانگین شاخص بهره‌وری نسبی آب (نسبت بهره‌وری فعلی به بهره‌وری پتانسیل) برای محصول جو برابر ۰/۵۴ برآورد گردید. رمضانی اعتدالی و آبابایی (Ramezani-Etedali and Ababaei, 2017) در تحقیقی به بررسی رد پای آب در تولید جو در سطح ایران پرداختند. نتایج نشان داد رد پای آب برای تولید محصول جو در سطح ایران ۷۹۷۵ میلیون متر مکعب در سال بوده است. اکبری و جاسمی (Akbari and Jasemi, 2008) در تحقیقی، بهره‌وری آب در لاین‌های امیدبخش جو متحمل به خشکی آخر فصل با آبیاری قطره‌ای را بررسی نمودند. بر اساس نتایج این تحقیق در آبیاری کامل

متوسط حجم آب آبیاری جو در روش قطره‌ای برابر با ۳۴۰۷ متر مکعب در هکتار و بهره‌وری آب ۱/۸۳ کیلوگرم بر متر مکعب بود. شریف و عبدالمحسن (Shrief and Abd El-Mohsen, 2014) در تحقیقی اثرات رژیم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب در تولید جو در منطقه‌ای در لیبی را مورد ارزیابی قرار دادند. در این مطالعه، آبیاری کامل معادل ۸۷۸۶ متر مکعب در هکتار و کم‌آبیاری با کاهش درصدهای مختلف در میزان آبیاری برای محصول جو اعمال گردید. نتایج نشان داد که در بین تیمارها، بالاترین بهره‌وری آب در تیمار آبیاری کامل به میزان ۰/۳۴ کیلوگرم بر متر مکعب به دست آمد. جوبس و کروگمان (Hobbs and Krogman, 1973) در تحقیقی نیاز آبی گندم، جو و یولاف را در آلبرتای کانادا تعیین نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که متوسط تبخیر و تعرق واقعی جو در سه فصل زراعی مورد اندازه‌گیری برابر با ۴۲۸ میلی‌متر بود. میانگین عمق آبیاری اعمال شده در این سه فصل برابر با ۲۵۳ میلی‌متر بوده و مابقی نیاز آبی گیاه از باران تأمین شده است. طی یک مطالعه در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شیراز، قاسمی و سپاسخواه (Ghasemi-Aghbolaghi and Sepaskhah, 2018) اثر شیوه کشت، سطح کود ازت و آبیاری بخشی منطقه ریشه گیاه جو بر آب مصرفی و عملکرد جو را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد میزان بهره‌وری آب آبیاری در شیوه آبیاری جویچه‌ای معمولی بین ۰/۳۸ تا ۰/۷۷ کیلوگرم بر متر مکعب و در شیوه آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متغیر بین ۰/۴۱ تا ۰/۸۶ کیلوگرم بر متر مکعب متغیر بود. حسین و الجالود (Hussain and Al-Jaloud, 1998) در آزمایش مزرعه‌ای دوساله در منطقه دیراب عربستان سعودی، عملکرد دانه جو و بهره‌وری آب را در شرایط آبیاری کامل و اعمال پنج تیمار کاربرد کود ازت مورد بررسی قرار دادند. میزان عملکرد دانه جو بین ۲/۱ تا ۵/۵ تن بر هکتار و بهره‌وری آب آبیاری کاربردی ۰/۳۴ تا ۰/۸۷ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش گردید. در یک مطالعه لایسیمتری دوساله در منطقه باری، ایتالیا (با اقلیم مدیترانه‌ای)، کاترجی و همکاران (Katerji *et al*., 2009) اثر سطوح مختلف تنش خشکی و شوری بر عملکرد جو در خاک شور را مورد بررسی قرار دادند. میزان تبخیر- تعرق واقعی جو بین ۴۶۴ تا ۶۱۵ میلی‌متر، عملکرد دانه جو بین ۵/۹ تا ۷/۵ تن بر هکتار و بهره‌وری آب بین ۱/۲ تا ۱/۴۷ کیلوگرم بر متر مکعب متغیر بود. مورل و همکاران (Morell *et al*., 2011) طی یک مطالعه مزرعه‌ای دوساله در دره ابرو، اسپانیا (با اقلیم نیمه‌خشک)، اثر خاک ورزی و سطوح مختلف کود ازت (شامل کاربرد صفر، ۶۰ و ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار) را بر عملکرد جو و بهره‌وری آب آبیاری مورد بررسی قرار دادند. عملکرد دانه جو در بین تیمارهای مورد بررسی بین ۰/۳۱ تا ۴/۴ تن بر هکتار و بهره‌وری آب بین ۰/۱۲ تا ۰/۹۷ کیلوگرم بر متر مکعب متغیر بود. در تحقیقی در منطقه سبها در جنوب لیبی (با اقلیم خشک)، عبدالواحد (Abd El-Wahed *et al*., 2016) میزان عملکرد و بهره‌وری آب آبیاری بارانی در کشت جو را به‌ترتیب، ۵/۵۰ تن بر هکتار و ۰/۷۵ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش کردند. پاردو و همکاران (Pardo *et al*., 2020) طی یک مطالعه مزرعه‌ای سه‌ساله (۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷) در منطقه کاستیا-لامانچا[1] اسپانیا با اقلیم نیمه‌خشک، اثر اعمال کم‌آبیاری بر عملکرد جو و بهره‌وری آب را مورد بررسی قرار دادند. تیمارهای آبیاری، شامل آبیاری کامل و تأمین ۱۰۰، ۹۰، ۸۰ و ۷۰ درصد نیاز آبیاری خالص جو (۲۵۰ میلی‌متر) (به‌ترتیب، تیمارهای T1 تا T5) بودند. عمق آب کاربردی بین تیمارهای مختلف بین ۱۷۵ تا ۳۲۹ میلی‌متر، عملکرد جو بین ۶/۳ تا ۹/۱ تن بر هکتار و بهره‌وری آب آبیاری بین ۲/۸ تا ۳/۶ کیلوگرم بر مترمکعب (به‌ترتیب در تیمارهای T1 و T4) متغیر بود.

بررسی منابع نشان می‌دهد که پژوهش‌های انجام شده در خصوص ارزیابی حجم آب مصرفی و بهره‌وری آب در تولید جو در سطح کشور به‌طور عمده یا در مناطق محدود انجام شده و یا در چارچوب پروژه‌های پژوهشی در مقیاس پلات‌های آزمایشی انجام شده است. بنابراین گزارش جامعی از اندازه‌گیری و برآورد حجم آب مصرفی محصول جو برای بهره‌برداری در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی در سطح کشور گزارش نشده است.

بر مبنای بررسی منابع تحقیقات گسترده در زمینه مدیریت آب آبیاری و کاربرد روش‌های مختلف آبیاری در مزارع جو در کشور، نوآوری‌های این پژوهش عبارت بودند از: الف) اندازه‌گیری حجم آب مصرفی و تعیین بهره‌وری آب در تولید جو در سطح کشور، ب) به‌روز بودن اندازه‌گیری‌ها و نتایج و یافته‌های پژوهشی، ج) قابلیت کاربرد یافته‌ها برای بهره‌برداری در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی در سطح ملی و منطقه‌ای، د) قابلیت ترویج یافته‌ها در مزارع جو در سطح ملی برای بهبود بهره‌وری آب. در این پروژه تلاش گردید تا میزان آب کاربردی در مزارع جو کشور در مناطقی که بیشترین سطح کشت این محصول را دارند، مورد بررسی و اندازه‌گیری مستقیم قرار بگیرد. همچنین فرضیه‌های این پژوهش به شرح الف) حجم آب آبیاری جو در مناطق مختلف کشور تفاوت دارد، ب) میانگین آب کاربردی در مزارع جو کشور بیشتر از مقدار موردنیاز است، ج) بهره‌وری آب جو در مناطق اصلی تولید این گیاه متفاوت است، و د) حجم آب کاربردی جو در روش‌های مختلف آبیاری یکسان نیست. بنابراین هدف اصلی از اجرای این پروژه تعیین حجم آب کاربردی و بهره‌وری آب در تولید محصول جو در کشور است. اهداف فرعی این پروژه عبارت بودند از: اندازه‌گیری حجم آب داده شده به مزارع جو در مناطق عمده تولید این محصول در کشور، مقایسه حجم آب اندازه‌گیری شده در قطب‌های تولید با نیاز خالص آبیاری جو و تعیین بهره‌وری آب جو در مناطق عمده تولید این محصول در کشور

1- Castilla-La Mancha

مواد و روش‌ها

مناطق منتخب برای اجرای پژوهش

در این پژوهش استان‌های خراسان رضوی، فارس، مرکزی، اصفهان، همدان، خوزستان، تهران، قزوین، آذربایجان‌شرقی، اردبیل، خراسان‌شمالی و سمنان به‌عنوان مناطق عمده تولید جو در کشور که سطح زیرکشت و میزان تولید جو در آن‌ها بخش مهمی از کل کشور را شامل می‌شود (Ahmadi *et al.*, 2021)، به‌عنوان مناطق پایلوت اجرای پژوهش انتخاب شدند. در جدول ۱ تعداد مزرعه انتخابی هر استان ارائه شده است. تعداد مزرعه در هر استان، بر اساس درصد سطح زیرکشت جو در آن استان نسبت به کل کشور انتخاب شده است. بعد از تعیین تعداد مزرعه در هر استان، مزارع مورد مطالعه (با هماهنگی مراکز خدمات و مدیریت‌های جهاد کشاورزی مناطق مورد مطالعه) طوری انتخاب شد که شرایط مختلف از نظر شوری آب‌وخاک، نوع مالکیت (بزرگ مالک و خرده‌مالک)، روش آبیاری را پوشش دهند و از پراکندگی مناسب در سطح منطقه برخوردار باشند.

جدول ۱- شهرستان‌های مورد مطالعه و تعداد مزرعه‌های انتخابی جو در استان‌های منتخب
Table 1- Studied counties with barley farms number in selected provinces

ردیف No	نام استان Province	شهرستان‌های مورد مطالعه Studied counties	حداقل تعداد مزارع انتخابی Farms number
1	خراسان رضوی Khorasan Razavi	سبزوار- نیشابور- مشهد- چناران- تربت‌جام Sabzvar, Neyshabour, Mashad,Chenaran, Torbate jam	47
2	فارس Fars	مرودشت- سپیدان- بوانات- شیراز- فسا Marvdasht, Sepidan, Bovanat, Shiraz, Fasa	43
3	مرکزی Markazi	اراک- زرندیه- ساوه Arak, Zarandieh, Saveh	25
4	اصفهان Isfahan	اصفهان- شاهین‌شهر- برخوار- اردستان- گلپایگان Isfahan, Shahinshahr, Barkhar, Ardwstan, Gholpayeghan,	26
5	همدان Hemedan	کبودرآهنگ- همدان- بهار Kabadarahang,Hemedan, Bahar	28
6	خوزستان Khozestan	اهواز- هویزه- شادگان Ahvaz, Hoveyzeh, Shadghan	29
7	تهران Tehran	ورامین- شهرری- پاکدشت Varamin, Shahrrey, Pakdasht	26
8	قزوین Ghazvin	بوئین‌زهرا Boueen Zahra	13
9	آذربایجان شرقی East Azarbaijan	سراب- بناب- اسکو Sarab, Bonab, Osku	23
10	اردبیل Ardabil	اردبیل- کوثر Ardabil, Kosar	18
11	خراسان شمالی North Khorasan	شیروان Shirvan	12
12	سمنان Semnan	سمنان- شاهرود- دامغان Semnan, Shahroud, Damghan	6
	جمع Total		296

برای بررسی کفایت تعداد مزارع انتخابی و سایر فراسنج‌ها، از رابطهٔ (۱) استفاده شد:

$$n = \frac{z^2 \sigma^2}{(\bar{x} - \mu)^2} \qquad (۱)$$

در رابطه ۱: n= تعداد اندازه‌گیری‌های لازم برای تحلیل واریانس عملکرد و حجم آب آبیاری جو در سطح کشور، z= سطح اعتماد (برای سطح اعتماد ۹۵ درصد، مقدار آن ۱/۹۶ در نظر گرفته شد)، σ^2= واریانس جمعیت، µ میانگین جمعیت و $\bar{X}$ میانگین اندازه‌گیری‌ها است.

عامل‌های اندازه‌گیری شده در پژوهش

عامل‌های اصلی اندازه‌گیری شده در این پژوهش حجم آب مصرفی و عملکرد محصول جو بود و فراسنج بهره‌وری آب در تولید محصول بر مبنای این دو عامل تعیین گردد. مقدار تبخیر و تعرق گیاه جو در هر منطقه با استفاده از داده‌های نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به محل اجرای پروژه در دوره ۱۰ ساله اخیر (۱۴۰۰-۱۳۹۱) و سال انجام تحقیق (سال ۱۴۰۰) با استفاده از روش پنمن مانتیث محاسبه شد. نتایج نیاز آبی محاسبه شده با مقادیر ارائه شده در سند ملی آب مقایسه گردید.

با توجه به این‌که هدف اصلی از اجرای پروژه حاضر، اندازه‌گیری حجم آب آبیاری محصول جو در مناطق مختلف کشور بوده است، آب داده‌شده توسط کشاورزان برای تولید جو در طول فصل زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹بدون دخالت در مدیریت آبیاری، و در سطح مزارع بهره‌برداران و کشاورزان اندازه‌گیری شده است. حجم آب آبیاری ورودی به مزرعه، با اندازه‌گیری مقدار دبی از منبع آب (رودخانه، چاه، قنات، چشمه) با وسیله مناسب (فلوم ذوزنقه‌ای) به داخل هر مزرعه اندازه‌گیری شد.

در هرکدام از مزرعه‌های مورد مطالعه، مشخصات بهره‌برداران (پیشرو یا معمولی)، آدرس محل اجرا، نوع اقلیم، مختصات جغرافیایی، نوع منبع آب (سطحی یا زیرزمینی)، نوع شبکه (مدرن یا سنتی)، دبی و شوری آب آبیاری، سطح کل اراضی و سطح زیرکشت مزرعه جو، بافت و شوری عصاره اشباع خاک، روش آبیاری مورداستفاده (در صورت وجود سامانه نوین آبیاری شامل روش‌های بارانی و قطره‌ای، نوع و دبی قطره‌چکان یا آبپاش، فاصله نوارهای آبیاری قطره‌ای یا باله‌های آبیاری، تعداد نوبت‌های آبیاری و ساعت آبیاری در هر نوبت)، نوع و میزان کود مصرفی، تعداد دفعات کوددهی در هر مزرعه مشخص و در برگه‌ها ثبت شد.

روش آبیاری مزارع منتخب جو سطحی، بارانی و قطره‌ای بود. البته در برخی استان‌های مورد مطالعه ازجمله خوزستان، تهران و آذربایجان شرقی همه مزارع به روش سطحی آبیاری می‌شدند. در مجموع، ۷۵ درصد مزارع مورد مطالعه به روش سطحی، ۲۲ درصد به روش بارانی و تنها ۳ درصد به روش قطره‌ای آبیاری می‌شدند. بهره‌برداران مزارع منتخب جو در این پروژه دارای سطوح مختلف سواد بودند. خوشبختانه ۲۵ درصد بهره‌برداران دارای سواد دانشگاهی (فوق‌دیپلم به بالا) و بقیه به‌ترتیب ۳۱ درصد تحصیلات متوسطه، ۱۷ درصد سطح راهنمایی، ۲۴ درصد سواد ابتدایی و فقط ۳ درصد بی‌سواد بودند.

عامل‌ها یا فراسنج‌های برآورد شده در پژوهش

بارندگی مؤثر به روش SCS بر اساس داده‌های روزانه برآورد شد (SCS, 1972). نیاز آبی گیاه مرجع به روش پنمن- مانتیث با استفاده از داده‌های ۱۰ سال اخیر برای منطقهٔ موردنظر از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی برآورد گردید. نیاز آبی گیاه مرجع با اعمال ضریب گیاهی (Allen *et al.*, 1998) به نیاز آبی خالص گیاه تبدیل شد. عملکرد محصول در پایان فصل زراعی نیز اندازه‌گیری و بهره‌وری آب در هر یک از مزارع و مناطق موردمطالعه محاسبه و مقایسه گردید. فراسنج بهره‌وری آب از رابطهٔ (۲) تعیین شد:

$$WP = \frac{CY}{CW} \qquad (۲)$$

در رابطه ۲: WP= بهره‌وری فیزیکی آب در تولید جو (کیلوگرم بر متر مکعب آب)، CY= عملکرد جو (کیلوگرم در هکتار)، و CW= مجموع حجم آب داده شده و بارندگی مؤثر در تولید جو (متر مکعب در هکتار) است. بالاتر بودن این شاخص، نشان‌دهنده بهره‌وری فیزیکی بهتری است. از این شاخص هم می‌توان برای مقایسه بهره‌وری فیزیکی آب در یک نوع محصول معین در مناطق مختلف و هم برای یک منطقه (مزرعه) خاص ولی طی زمان استفاده کرد. برای بررسی تغییرات عملکرد، حجم آب آبیاری و شاخص بهره‌وری آب جو از تحلیل واریانس استفاده شد.

نتایج و بحث

بررسی کفایت اندازه‌گیری‌های حجم آب آبیاری و عملکرد جو

برای تشخیص قابلیت اعتماد تحلیل آماری، کفایت تعداد اندازه‌گیری‌های لازم برای کمیت‌های حجم آب آبیاری و عملکرد جو در مزرعه‌های منتخب از رابطه ۱ برآورد و شاخص‌های آماری داده‌ها شامل میانگین، انحراف معیار محاسبه گردید، که نتایج حاصل از این بررسی‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طوری‌که در جدول مذکور نشان داده شده است، تعداد اندازه‌گیری‌های حجم آب آبیاری و عملکرد جو در این پژوهش به‌ترتیب ۲۹۶ و ۲۸۳ مورد بود که به‌مراتب بیشتر از تعداد اندازه‌گیری‌های لازم برای حجم آب آبیاری (۴۱ داده) و عملکرد (۵۰ داده) بود. بنابراین کفایت داده‌ها برای تحلیل آماری این کمیت قابل‌اعتماد و محرز بود.

جدول ۲- میانگین، انحراف معیار و کفایت اندازه‌گیری‌ها در مزارع تولید جو

Table 2- Mean, standard deviation and adequacy of measurements in barley production fields.

شاخص آماری Statistical indicators	حجم آب آبیاری Irrigation water (m^3 ha^{-1})	عملکرد جو Barley yield (kg ha^{-1})
میانگین (حسابی) Average (arithmetic)	4755	3863
انحراف معیار Standard deviation	1544	1388
تعداد اندازه‌گیری لازم Measurements required	41	50
تعداد اندازه‌گیری‌های انجام‌شده Number of measurements	296	283

تحلیل تغییرات عملکرد، آب کاربردی و بهره‌وری آب در تولید جو

برای بررسی تغییرات عملکرد، آب کاربردی و بهره‌وری آب در تولید جو در استان‌های منتخب شامل خوزستان، آذربایجان‌شرقی، اردبیل، خراسان‌شمالی، فارس، خراسان‌رضوی، تهران، سمنان، مرکزی، اصفهان، همدان و قزوین از تحلیل واریانس استفاده گردید. تحلیل نشان داد تفاوت عملکرد محصول، آب آبیاری، آب کاربردی و بهره‌وری آب در استان‌های یادشده در سطح احتمال کمتر از یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در سطح احتمال موردقبول، میانگین عملکرد جو در استان‌های کشور مقایسه گردید. بر مبنای میانگین عملکرد محصول، می‌توان استان‌های کشور را به چهار خوشه تقسیم نمود. در خوشه اول عملکرد محصول در استان‌های خوزستان (۲۱۴۹ کیلوگرم در هکتار)، آذربایجان شرقی (۲۵۳۹ کیلوگرم در هکتار) و اردبیل (۲۹۷۱ کیلوگرم در هکتار)، در خوشه دوم عملکرد در استان‌های خراسان شمالی (۳۴۵۳ کیلوگرم در هکتار)، فارس (۳۷۴۴ کیلوگرم در هکتار)، خراسان‌رضوی (۳۸۰۵ کیلوگرم در هکتار) و تهران (۴۰۹۷ کیلوگرم در هکتار)، در خوشه سوم عملکرد در استان‌های سمنان (۴۲۰۰ کیلوگرم در هکتار)، مرکزی (۴۴۴۶ کیلوگرم در هکتار)، اصفهان (۴۸۰۰ کیلوگرم در هکتار)، و در خوشه چهارم عملکرد در استان‌های همدان (۵۲۶۷ کیلوگرم در هکتار) و قزوین (۵۷۸۰ کیلوگرم در هکتار) قرار داشت (جدول ۴). بنابراین، حداقل و حداکثر عملکرد جو از استان‌های خوزستان و قزوین به دست آمد. برای محاسبه میانگین وزنی کشوری، میانگین عملکرد جو در هر استان در سطح زیرکشت جو در همان استان ضرب شده و حاصل جمع به دست آمده از کلیه استان‌ها بر سطح زیرکشت کل، تقسیم شده است. دامنه تغییرات مقادیر عملکرد جو در مزارع مختلف هر استان و نیز کل کشور بسیار زیاد می‌باشد، به‌طوری‌که متوسط عملکرد مزرعه‌ها از ۷۰۵۰ کیلوگرم در هکتار تا ۱۶۳۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بوده است. این دامنه تغییرات عملکرد محصول در استان‌ها و مزارع مختلف بیانگر تأثیر عوامل متعدد فنی و مدیریتی در عملکرد محصول جو است. به نظر می‌رسد مدیریت آبیاری، مدیریت زراعی، مدیریت تغذیه گیاه، اقلیم منطقه، نوع سامانه آبیاری، تاریخ کاشت، مدیریت دفع آفات و بیماری‌های گیاهی، رقم گیاه از عوامل مهم در تغییرات عملکرد محصول در استان‌ها و مزارع مختلف، باشند. میانگین کل عملکرد محصول جو در کشور در شکل ۱ ارائه شده‌اند. بر این اساس میانگین وزنی عملکرد جو در مزارع کشور ۳۹۸۵ کیلوگرم در هکتار و در مزرعه-های با روش آبیاری سطحی ۳۷۳۵ کیلوگرم در هکتار، با روش آبیاری بارانی ۴۲۲۰ کیلوگرم در هکتار و با روش آبیاری قطره‌ای ۴۸۱۵ کیلوگرم در هکتار بود. عبدالواحد و همکاران (Abd El-Wahed *et al.*, 2016) میزان عملکرد جو تحت آبیاری بارانی را در منطقه سبها در جنوب لیبی (با اقلیم خشک)، حدود ۵۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار گزارش کرده‌اند. حسین و الجالود (Hussain and Al-Jaloud (1998 در آزمایش مزرعه‌ای دوساله عملکرد دانه جو را در شرایط آبیاری کامل و اعمال پنج تیمار کاربرد کود ازت را در منطقه دیراب عربستان سعودی، مورد بررسی قرار داده و میزان عملکرد دانه جو بین ۲۱۰۰ تا ۵۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار گزارش نموده‌اند. همچنین کاترجی و همکاران (Katerji *et al.*, 2009) اثر سطوح مختلف تنش خشکی و شوری بر عملکرد جو در خاک شور را مورد بررسی قرار داده و عملکرد دانه جو را بین ۵۹۰۰ تا ۷۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار اعلام نموده‌اند. مورل و همکاران (Morell *et al.*, 2011) طی یک مطالعه مزرعه‌ای دوساله در اسپانیا با بررسی اثر خاک‌ورزی و سطوح مختلف کود ازت بر عملکرد جو، مقدار این عامل را بین ۳۱۰ تا ۴۴۰۰ کیلوگرم بر هکتار گزارش نموده‌اند.

جدول ۳- تحلیل واریانس عملکرد،آب آبیاری، آب کاربردی و بهره‌وری آب در تولید جو

Table 3- Analysis of variance for yield, irrigation water, applied water and water productivity in barley production

منبع تغییرات **Source of variations**	مجموع مربعات **Sum of squares of**	درجه آزادی **Degrees of freedom**	میانگین مربعات **Mean of squares**	نسبت F **F-ratio**	مقدار P **P-value**
تحلیل واریانس عملکرد محصول جو Analysis of variance for yield					
بین استان‌ها Between Provinces	2.6 E7	11	2.4 E7	22.6	≤0.01
درون استان‌ها Within Provinces	2.8 E8	271	1.1 E6		
کل کشور Total	5.4 E8	282			
تحلیل واریانس آب آبیاری در تولید جو Analysis of variance for irrigation water					
بین استان‌ها Between Provinces	2.6 E8	11	2.4 E7	15.6	≤0.01
درون استان‌ها Within Provinces	4.4 E8	284	1.5 E6		
کل کشور Total	7.0 E8	295			
تحلیل واریانس آب کاربردی در تولید جو Analysis of variance for applied water					
بین استان‌ها Between Provinces	2.0 E8	11	1.8 E7	11.2	≤0.01
درون استان‌ها Within Provinces	4.5 E8	284	1.6 E6		
کل کشور Total	6.5 E8	295			
تحلیل واریانس بهره‌وری آب در تولید جو Analysis of variance for water productivity					
بین استان‌ها Between Provinces	16.2	11	1.48	17.3	≤0.01
درون استان‌ها Within Provinces	22.8	267	0.09		
کل کشور Total	39.0	278			

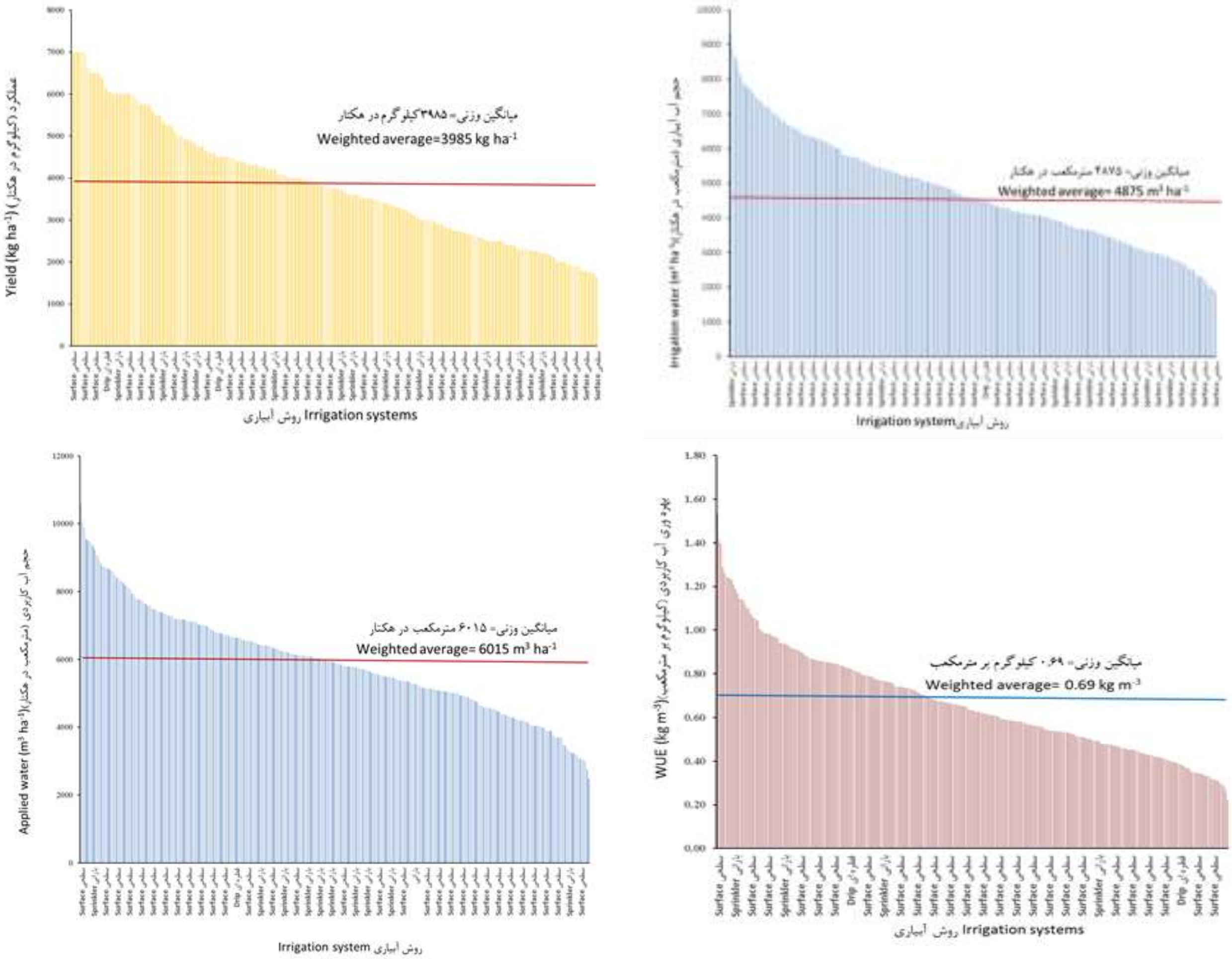
میانگین حجم آب آبیاری جو در استان‌های کشور در سطح احتمال موردقبول، مقایسه گردید. بر مبنای میانگین آب آبیاری، می‌توان مزارع جو در استان‌های کشور را به چهار خوشه تقسیم نمود. در خوشه اول حجم آب آبیاری در استان خراسان شمالی (۲۶۰۲ متر مکعب در هکتار)، در خوشه دوم حجم آب آبیاری در استان‌های اردبیل (۳۷۴۷ متر مکعب در هکتار)، فارس (۳۷۹۴ متر مکعب در هکتار)، خوزستان (۴۰۷۱ متر مکعب در هکتار) و آذربایجان شرقی (۴۱۸۴ متر مکعب در هکتار)، در خوشه سوم حجم آب آبیاری در استان‌های همدان (۴۴۹۱ متر مکعب در هکتار)، قزوین (۵۱۶۸ متر مکعب در هکتار) و خراسان‌رضوی (۵۲۲۷ متر مکعب در هکتار)، در خوشه چهارم حجم آب آبیاری در استان‌های تهران (۵۸۹۰ متر مکعب در هکتار)، اصفهان (۵۹۷۲ متر مکعب در هکتار)، سمنان (۵۹۹۲ متر مکعب در هکتار)، مرکزی (۶۰۴۴ متر مکعب در هکتار) قرار داشت. حداقل و حداکثر حجم آب آبیاری داده شده به مزارع جو در استان‌های خراسان شمالی و مرکزی به دست آمد. به نظر می‌رسد نیازآبی گیاه، مقدار آب مورد دسترس کشاورز، مدیریت آبیاری، اقلیم منطقه، نوع سامانه آبیاری، مقدار بارش، راندمان آبیاری و رقم گیاه از عوامل مهم در تغییرات حجم آب مصرفی مزارع مختلف، باشند. نقدیزادگان و همکاران (Naghdyzadegan *et al.*, 2016) مقدار

مصرف آب آبیاری در تیمارهای تأمین ۱۰۰٪ نیاز آبی در سال اول و دوم برابر ۴۴۰۰ و ۴۸۰۰ مترمکعب در هکتار تعیین نموده است. پیراسته و همکاران (Pirasteh-Anosheh *et al.*, 2017) میانگین آب مصرفی توسط گیاه جو در کرت‌های شاهد (با شوری آب آبیاری ۲ دسی‌زیمنس بر متر) معادل ۷۳۰۰ متر مکعب در هکتار و در کرت‌های شور (با شوری آب ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) برابر با ۶۲۰۰ متر مکعب در هکتار گزارش نموده است. اکبری و جاسمی (Akbari and Jasemi, 2008) میانگین حجم آب آبیاری جو در روش قطره‌ای را برابر با ۳۴۰۷ متر مکعب در هکتار اعلام نموده‌اند. شریف و عبدالمحسن (Shrief and Abd El-Mohsen, 2014) میزان آب مصرفی جو در منطقه‌ای در لیبی را برای شرایط آبیاری کامل معادل ۸۷۸۶ متر مکعب در هکتار گزارش نموده‌اند. پاردو و همکاران (Pardo *et al.*, 2020) میزان آب آبیاری در تولید جو در اسپانیا را بین ۱۷۵۰ تا ۳۲۹۰ متر مکعب در هکتار گزارش نموده‌اند.
تغییرات حجم آب آبیاری در مزرعه‌های منتخب جو در تمام استان‌های مورد مطالعه سطح کشور در شکل ۱ ارائه شده‌است که در آن، دامنه تغییرات حجم آب آبیاری بین ۱۸۸۳ تا ۹۳۰۰ متر مکعب در هکتار است. همچنین میانگین وزنی آب آبیاری جو در مزرعه‌های منتخب برابر ۴۸۷۵ متر مکعب در هکتار به‌دست آمد. بر اساس نتایج به دست آمده، حدود ۵۶ درصد مزارع منتخب کشور حجم آب آبیاری کمتر از این مقدار داشتند. همچنین حجم آب آبیاری در مزرعه‌های منتخب در سه روش آبیاری مطابق شکل ۱ مورد مقایسه قرار گرفته است. از مجموع ۲۹۶ مزرعه انتخاب شده، ۲۲۵ مزرعه تحت سامانه آبیاری سطحی (حدود ۷۶ درصد)، ۶۲ مزرعه تحت سامانه آبیاری بارانی (حدود ۲۱ درصد) و فقط ۹ مزرعه به روش آبیاری قطره‌ای (حدود ۳ درصد) بودند که میانگین حجم آب آبیاری با سامانه‌های سطحی، بارانی و قطره‌ای به‌ترتیب برابر ۴۷۶۰، ۴۶۵۵ و ۵۲۸۰ متر مکعب در هکتار به دست آمد. بالاتر بودن حجم آب آبیاری جو در روش قطره‌ای را می‌توان به مصرف آب بیش از نیاز در آبیاری نوبت اول (خاکاب) و محدودیت زارعین در تغییر دور و زمان آبیاری نسبت داد.

جدول ٤- میانگین عملکرد، آب آبیاری، آب کاربردی و بهره‌وری آب در تولید جو در استان‌های کشور

Table 4- Average yield, irrigation water, applied water and water productivity in barley production in the provinces of the Iran

ردیف No	استان Province	عملکرد Yield (kg ha^{-1})	آب آبیاری Irrigation water (m^3 ha^{-1})	آب کاربردی Applied water (m^3 ha^{-1})	بهره‌وری آب Water productivity (kg m^{-3})
1	خوزستان Khozestan	2149 [a]	4071 [bc]	5371 [bc]	0.56 [a]
2	آذربایجان شرقی East Azarbaijan	2539 [ab]	4184 [bc]	5662 [bcd]	0.61 [ab]
3	اردبیل Ardabil	2971 [bc]	3747 [b]	4785 [b]	0.84 [cd]
4	خراسان شمالی North Khorasan	۳۴۵۳ [cd]	2602 [a]	3602 [a]	1.31 [g]
5	فارس Fars	3744 [d]	3794 [b]	5236 [b]	1.02 [ef]
6	خراسان‌رضوی Khorasan Razavi	3805 [d]	5227 [e]	6212 [cde]	0.82 [cd]
7	تهران Tehran	4097 [de]	5890 [fg]	7024 [g]	0.70 [abc]
8	سمنان Semnan	4200 [def]	5992 [fg]	6533 [fg]	0.79 [bcd]
9	مرکزی Markazi	4446 [ef]	6044 [g]	6561 [fg]	0.75 [bcd]
10	اصفهان Isfahan	4800 [fg]	5972 [fg]	6899 [g]	0.88 [de]
11	همدان Hamadan	5267 [gh]	4491 [cd]	6387 [ef]	1.37 [g]
12	قزوین Ghazvin	5780 [h]	5168 [def]	6588 [fg]	1.19 [fg]
	میانگین وزنی Weighted mean	3985	4875	6015	0.90



شکل ۱- تغییرات عملکرد، آب آبیاری، آب کاربردی و بهره‌وری آب در تولید جو در استان‌های کشور

Figure 1- changes in yield, irrigation water, applied water and water productivity in barley production in the provinces of the Iran

در سطح احتمال موردقبول، میانگین حجم آب کاربردی جو در استان‌های کشور مقایسه گردید. بر مبنای میانگین آب کاربردی، می‌توان مزارع جو در استان‌های کشور را به سه خوشه تقسیم نمود (جدول ۴). در خوشه اول حجم آب کاربردی در استان خراسان شمالی (۳۶۰۲ متر مکعب در هکتار)، در خوشه دوم حجم آب کاربردی در استان اردبیل (۴۷۸۵ متر مکعب در هکتار)، فارس (۵۲۳۶ متر مکعب در هکتار)، خوزستان (۵۳۷۱ متر مکعب در هکتار)، آذربایجان شرقی (۵۶۶۲ مترمکعب در هکتار)، در خوشه سوم حجم آب کاربردی در استان‌های خراسان‌رضوی (۶۲۱۲ متر مکعب در هکتار)، همدان (۶۳۸۷ متر مکعب در هکتار)، سمنان (۶۵۳۳ متر مکعب در هکتار)، مرکزی (۶۵۶۱ متر مکعب در هکتار)، قزوین (۶۵۸۸ متر مکعب در هکتار)، اصفهان (۶۸۹۹ متر مکعب در هکتار) و تهران (۷۰۲۴ متر مکعب در هکتار) قرار داشت. بنابراین، حداقل و حداکثر حجم آب کاربردی جو از مزارع استان‌های خراسان شمالی و تهران به عمل آمد. تفاوت میانگین وزنی حجم آب آبیاری داده شده (۴۸۷۵) و حجم آب کاربردی (۶۰۱۵) که همان مقدار بارش مؤثر است، برابر با ۱۱۳۹ متر مکعب در هکتار معادل حدود ۱۱۴ میلی‌متر باران مؤثر است. بیشترین میزان بارش مؤثر در کشت محصول جو مربوط به استان همدان (۱۹۰ میلی‌متر) و کمترین میزان بارش مؤثر در استان مرکزی (۵۲ میلی‌متر) اتفاق افتاده است. نتایج نشان داد دامنه تغییرات مقادیر آب آبیاری جو در مزرعه‌های مختلف کشور بسیار متفاوت و از حدود ۱۰۵۷۰ تا ۲۴۹۰ مترمکعب در هکتار متغیر است. میانگین آب آبیاری کاربردی جو در کل مزارع منتخب در شکل ۱ ارائه شده است. بر این اساس میانگین وزنی آب آبیاری کاربردی جو در مزارع کشور ۶۰۱۵ و در مزارع با روش آبیاری سطحی ۶۰۲۵، مزارع با روش آبیاری بارانی ۵۵۵۰ و روش آبیاری قطره‌ای ۶۷۶۵ متر مکعب در هکتار است.

میانگین بهره‌وری آب آبیاری در تولید جو در استان‌های کشور در سطح احتمال ۵ درصد، مقایسه گردید. بر مبنای میانگین بهره‌وری آب

آبیاری، می‌توان استان‌های کشور را به چهار خوشه تقسیم نمود. در خوشه اول بهره‌وری آب آبیاری در استان‌های خوزستان (۰/۵۶ کیلوگرم بر متر مکعب)، آذربایجان شرقی (۰/۶۱ کیلوگرم بر متر مکعب) و تهران (۰/۷۰ کیلوگرم بر متر مکعب)، در خوشه دوم بهره‌وری آب آبیاری در استان‌های مرکزی (۰/۷۵ کیلوگرم بر متر مکعب)، سمنان (۰/۷۹ کیلوگرم بر متر مکعب)، خراسان‌رضوی (۰/۸۲ کیلوگرم بر متر مکعب)، اردبیل (۰/۸۴ کیلوگرم بر متر مکعب) و اصفهان (۰/۸۸ کیلوگرم بر متر مکعب)، در خوشه سوم بهره‌وری آب آبیاری در استان‌های فارس (۱/۰۲ کیلوگرم بر متر مکعب) و قزوین (۱/۱۹ کیلوگرم بر متر مکعب)، در خوشه چهارم بهره‌وری آب آبیاری در استان‌های خراسان شمالی (۱/۳۱ کیلوگرم بر متر مکعب) و همدان (۱/۳۷ کیلوگرم بر متر مکعب) قرار داشت. بنابراین حداقل و حداکثر بهره‌وری آب در تولید جو از استان‌های خوزستان و همدان به‌دست آمد (جدول ۴). حجم آب آبیاری و عملکرد محصول از مؤلفه‌های اساسی در بهره‌وری آب محسوب می‌شوند. بنابراین عوامل مؤثر در آب مصرفی و تشکیل عملکرد، می‌تواند مقادیر بهره‌وری آب را تحت تأثیر قرار دهد.

نتایج نشان داد دامنه تغییرات مقادیر بهره‌وری آب آبیاری جو در مزرعه‌های مختلف کشور بسیار متفاوت و از حدود ۰/۲۸ تا ۲/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر است. بااین‌حال میانگین بهره‌وری آب محصول جو در کل مزارع مورد بررسی در استان‌های منتخب کشور در شکل ۱ ارائه شده‌اند. بر این اساس میانگین وزنی بهره‌وری آب جو در مزارع کشور ۰/۹ و در مزرعه‌های با روش آبیاری سطحی ۰/۸۵، با روش بارانی ۱/۰۱ و با روش قطره‌ای ۱/۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب است.

نقدیزادگان و همکاران (Naghdyzadegan *et al.*, 2016) بیشترین بهره‌وری آب در تولید دانه جو از تیمار تأمین ۷۵٪ نیاز آبی را برای دو سال متوالی به ترتیب ۱/۳۴ و ۱/۲۷ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش نموده‌اند. پیراسته و همکاران (Pirasteh-Anosheh *et al.*, 2017) در تحقیقی به بررسی تأثیر شوری آب آبیاری بر بهره‌وری آب در تولید جو در مرکز ملی تحقیقات شوری یزد پرداختند. میانگین دوساله بهره‌وری آب محصول جو با شوری آب آبیاری ۲ دسی‌زیمنس بر متر برابر ۰/۸۸ کیلوگرم بر متر مکعب و با شوری آب ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر ۰/۶۴به دست آمد. غلامی و همکاران (Gholami *et al.*, 2016) گزارش نموده‌اند که تغییرات بهره‌وری آب آبیاری در روش‌های آبیاری بارانی برای محصول جو، از ۰/۷۵ تا ۲/۵ کیلوگرم بر متر مکعب و میزان بهره‌وری آب آبیاری در آبیاری سطحی از ۰/۴۳تا ۱/۴۲ کیلوگرم بر متر مکعب بود. اکبری و جاسمی (Akbari and Jasemi, 2008) در تحقیقی، بهره‌وری آب در لاین‌های امیدبخش جو متحمل به خشکی آخر فصل با آبیاری قطره‌ای را بررسی نموده و در آبیاری کامل تحت روش قطره‌ای، میانگین بهره‌وری آب را ۱/۸۳ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش نموده‌اند. شریف و عبدالمحسن (Shrief and Abd El-Mohsen, 2014) در تحقیقی اثرات رژیم‌های مختلف آبیاری بر بهره‌وری آب در تولید جو در منطقه‌ای در لیبی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که در بین تیمارها، بالاترین بهره‌وری آب در تیمار آبیاری کامل به میزان ۰/۳۴ کیلوگرم بر متر مکعب به دست آمد. گزارش قاسمی و سیاسخواه (Ghasemi-Aghbolaghi and Sepaskhah, 2018) نشان داد میزان بهره‌وری آب آبیاری در شیوه آبیاری جویچه‌ای معمولی بین ۰/۳۸ تا ۰/۷۷ کیلوگرم بر متر مکعب و در شیوه آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متغیر بین ۰/۴۱ تا ۰/۸۶ کیلوگرم بر متر مکعب متغیر بود. حسین و الجالود (Hussain and Al-Jaloud, 1998) در آزمایش مزرعه‌ای دوساله در منطقه دیراب عربستان سعودی، بهره‌وری آب را در شرایط آبیاری کامل و اعمال پنج تیمار کاربرد کود ازت مورد بررسی قرار دادند و تغییرات بهره‌وری آب آبیاری کاربردی از ۰/۳۴ تا ۰/۸۷ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش نموده‌اند. کاترجی و همکاران (Katerji *et al.*, 2009) اثر سطوح مختلف تنش خشکی و شوری بر بهره‌وری آب در تولید جو در خاک شور را مورد بررسی قرار داده و تغییرات بهره‌وری آب را بین ۱/۲ تا ۱/۴۷ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش نموده‌اند. در گزارش مورل و همکاران (Morell *et al.*, 2011) تغییرات بهره‌وری آب آبیاری در شرایط مختلف خاک ورزی و سطوح مختلف کود ازت در مزارع جو در اقلیم نیمه‌خشک اسپانیا از ۰/۱۲ تا ۰/۹۷ کیلوگرم بر متر مکعب بود.

آنچه از بررسی حاضر می‌توان نتیجه گرفت، این است که آب تنها عامل و نهاده تأثیرگذار بر عملکرد محصول نیست و عوامل متعددی در این مهم دخیل هستند. به‌عبارتی می‌توان عملکرد محصول را حتی با حجم آب آبیاری کمتر و مدیریت سایر نهاده‌ها و شرایط فنی و مدیریتی مزرعه افزایش داد. این موضوع در شرایط کم‌آبی کشور که اغلب متولیان و بهره‌برداران برای افزایش عملکرد بیشتر به مدیریت آب تمرکز می‌نمایند، دارای اهمیت زیادی است. در مجموع می‌توان گفت عملکرد محصول جو علاوه بر آب، تابع عوامل مختلف دیگری است که توجه به هر یک از آن‌ها می‌تواند نقش قابل‌توجهی در بهبود عملکرد و افزایش بهره‌وری آب داشته باشد.

نتیجه‌گیری

در این پروژه حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب در تولید جو در قطب‌های تولید این محصول اندازه‌گیری و تحلیل شد. مزارع مورد مطالعه تحت مدیریت بهره‌برداران در استان‌های خوزستان، آذربایجان‌شرقی، اردبیل، خراسان‌شمالی، فارس، خراسان‌رضوی، تهران، سمنان، مرکزی، اصفهان، همدان و قزوین انتخاب شدند. بر اساس مجموعه بررسی‌ها و نتایج حاصل از این پژوهش نتیجه‌گیری‌های زیر قابل استناد است:

۱- با توجه به ماهیت این پژوهش و آنالیز آماری انجام شده تعداد

مزارع انتخابی برای اندازه‌گیری‌های حجم آب آبیاری (۲۹۶ مزرعه در ۱۲ استان) و عملکرد جو (۲۸۳ مزرعه در ۱۲ استان) به‌مراتب بیشتر از تعداد اندازه‌گیری‌های لازم برای حجم آب آبیاری (۴۱ داده) و عملکرد (۵۰ داده) برای تعمیم نتایج به کل کشور بود. بنابراین داده‌های این تحقیق از نظر شاخص کفایت داده‌ها قابل‌اعتماد و مورد تأیید است.

۲- اندازه‌گیری میدانی حجم آب آبیاری، عملکرد و برآورد شاخص بهره‌وری آب و بهره‌وری آب آبیاری و بارش مؤثر در تولید جو در استان‌های منتخب نشان داد تفاوت حجم آب آبیاری، عملکرد و شاخص‌های بهره‌وری آب در استان‌های یادشده معنی‌دار بود.

۳- متوسط حجم آب آبیاری در استان‌های مورد مطالعه شامل خوزستان، آذربایجان‌شرقی، اردبیل، خراسان‌شمالی، فارس، خراسان‌رضوی، تهران، سمنان، مرکزی، اصفهان، همدان و قزوین به ترتیب برابر با ۴۰۷۱، ۴۱۸۴، ۳۷۴۷، ۲۶۰۲، ۳۷۹۴، ۵۲۲۷، ۵۸۹۰، ۵۹۹۲، ۶۰۴۴، ۵۹۷۲، ۴۴۹۱ و ۵۱۶۸ متر مکعب در هکتار تعیین شد.

۴- میانگین حجم آب آبیاری جو بر اساس کل مزارع منتخب برابر ۴۸۷۵ متر مکعب در هکتار و به تفکیک سه روش آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای به‌ترتیب برابر ۴۷۶۰، ۴۶۵۵ و ۵۲۸۰ متر مکعب در هکتار تعیین شد. بدین‌ترتیب ملاحظه می‌شود تغییر روش آبیاری از سطحی به بارانی، موجب کاهش حدود ۲ درصد و از سطحی به قطره‌ای موجب افزایش حدود ۱۱ درصد در مصرف آب مزارع جو شده است.

۵- بر اساس تحلیل‌های انجام شده، میانگین وزنی عملکرد جو در مزارع کشور ۳۸۹۵ کیلوگرم در هکتار و در مزارع با روش آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای به‌ترتیب برابر با ۳۷۳۵، ۴۲۲۰ و ۴۸۱۵ کیلوگرم در هکتار بود. بنابراین، با تغییر روش آبیاری از سطحی به بارانی حدود ۱۳ درصد و از سطحی به قطره‌ای حدود ۲۹ درصد عملکرد افزایش یافته است.

۸- دامنه تغییرات مقادیر بهره‌وری آب آبیاری جو در مزارع مختلف کشور بسیار متفاوت و از حدود ۰/۲۸ تا ۲/۲۹ کیلوگرم بر متر مکعب متغیر بود. بااین‌حال میانگین بهره‌وری آب آبیاری محصول جو در کل مزارع کشور ۰/۹۰ و در مزارع با روش آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای به‌ترتیب ۰/۸۵، ۱/۰۱ و ۱/۰ کیلوگرم بر متر مکعب بود. به‌عبارتی با تغییر روش آبیاری از سطحی به بارانی و قطره‌ای حدود ۱۸ درصد بهره‌وری آب افزایش یافته است.

۹- درنهایت میانگین وزنی عملکرد جو ۳۹۸۵ کیلوگرم در هکتار، حجم آب آبیاری و حجم آب آبیاری+ بارش مؤثر سال جاری به‌ترتیب ۴۸۷۵ و ۶۰۱۵ متر مکعب در هکتار به دست آمد. بهره‌وری آب آبیاری ۰/۹۰ کیلوگرم بر متر مکعب، به دست آمد.

پیشنهادها

۱. نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان داد که حجم آب آبیاری مزارع جو در استان‌های منتخب متفاوت است و بسته به روش آبیاری، تعداد نوبت‌های آبیاری، تاریخ کاشت، زمان قطع آبیاری در انتهای فصل، میزان حقابه و منابع آب در دسترس و نحوه مدیریت مزرعه دارد. با توجه به اینکه اکثر مزارع به‌صورت حقابه‌ای آب دریافت می‌کنند اصولاً به نیاز آبی و حتی بارش مؤثر توجه ویژه‌ای نمی‌شود و میزان دبی دریافتی بیشترین تأثیر را در مصرف آب دارد. لذا گیاه در مقاطعی آب بیشتری دریافت و در مقاطعی آب کمتر از حد موردنیاز دریافت می‌کند و این باعث کاهش بهره‌وری آب می‌گردد. پیشنهاد می‌شود به‌منظور کاهش مصرف آب و بهبود بهره‌وری آب، تحویل آب به مزارع در طول فصل مدیریت شود و حقابه متناسب با نیاز آبی به آن‌ها تحویل داده شود. در این ارتباط آموزش به بهره‌برداران و ترویج یافته‌های علمی نقش کلیدی داشته و بسیار تاثیرگذار هستند.

۲. استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری با توجه به شرایط مزرعه و با اصول صحیح طراحی و بهره‌برداری و استفاده از روش‌های آبیاری سطحی با اعمال راهکارهای بهبود این روش (مانند آبیاری یک‌درمیان جویچه‌ها، ایجاد موج و کاهش دبی جریان)، به‌منظور کاهش تلفات آب و افزایش بهره‌وری در مزارع جو کشور پیشنهاد می‌گردد.

۳. در راستای بهبود عملکرد و تولید اقتصادی جو، ایجاد زیرساخت های لازم برای به‌کارگیری سامانه‌های نوین آبیاری امری مهم و ضروری است. اما باید توجه داشت که آب تنها یکی از چندین نهاده موردنیاز و مؤثر در تولید بهینه و اقتصادی جو است و در کنار آن باید به استفاده بهینه از سایر نهاده‌ها شامل: بذر، کود، سم، تجهیزات و ادوات، نیروی انسانی آموزش‌دیده توجه جدی بشود.

سپاسگزاری

این پژوهش با همکاری و حمایت مادی و معنوی معاونت آب‌وخاک وزارت جهاد کشاورزی به ثمر رسیده است. همچنین در اجرای این پژوهش همکاران گران‌قدری از سازمان‌های جهاد کشاورزی، مدیریت های جهاد شهرستان و مراکز خدمات جهاد کشاورزی استان‌ها، همچنین همکاران بخش‌های تحقیقات فنی و مهندسی مراکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان‌ها مشارکت و همکاری مؤثری داشته‌اند. بدین‌وسیله نویسندگان و مجریان پروژه مراتب سپاس و قدردانی خود را از زحمات و همکاری‌های این عزیزان اعلام می‌دارند.

منابع

1. Ababaei, B., & RamezaniEtedali, H. (2017). Water footprint assessment of main cereals in Iran. *Agricultural Water Management*, *179*, 401–411. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.07.016

2. Abd El-Wahed, M.H., Medici, M., & Lorenzini, G. (2016). Sprinkler irrigation uniformity: Impact on the crop yield and water use efficiency. *Journal of Engineering Thermophysics*, *25*(1), 117-125.
3. Ahmadi, K., Ebadzadeh, H.R., Hatami, F., Mohammadnia Afrozi, Sh., Esfandiaripour, A., & Abbas Taghani, R. (2021). *Agricultural statistics for 2019-2020*. Ministry of Jahad-e- Agriculture, Planning and Economic Deputy, Information and Communication Technology Center, Volume 1: Crops, page 20.
4. Ahmadi, K., Ebadzadeh, H.R., Hatami, F., Abdshah, H., & Kazemian, A. (2019). *Agricultural statistics for 2018-2019*. Volume 1: Crops. Ministry of Jahad-e- Agriculture, Planning and Economic Deputy, Information and Communication Technology Center,, pp. 7- 20
5. Akar, T., Avci, M., & Dusunceli, F. (2004). *BARLEY: Post-Harvest Operations*. The Central Research Institute for Field Crop, Ankara, Turkey.
6. Akbari, M., & Jasemi, Sh. (2008). *Determining the efficiency of water consumption in promising lines of barley tolerant to drought at the end of the season using the drip irrigation method*. The final report of the research project, Agricultural Engineering Research Institute, Karaj.
7. Alikhasi, M., Kouchakzadeh, M., Tavakoli, A., & Tahmasebi, R. (2019). Evaluation of improving water productivity using rain water harvesting system and supplemental irrigation on barley. *Iranian Water Researches Journal*, *13*(2), 81-90.
8. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), D05109. ISBN 92-5-104219-5
9. Ghasemi-Aghbolaghi, S., & Sepaskhah, A.R. (2018). Barley (*Hordeum vulgare* L.) response to partial root drying irrigation, planting method and nitrogen application rates. *International Journal of Plant Production*, *12*(1), 13-24. https://doi.org/10.1007/s42106-017-0002-y
10. Gholami, Z., Ebrahimian, H., & Noori, H. (2016). Investigation of irrigation water productivity in sprinkler and surface irrigation systems (case study: Qazvin plain). *Irrigation Sciences and Engineering*, *39*(3), 135-146. https://doi.org/10.22055/jise.2016.12350
11. Hobbs, E.H., & Krogman, K.K. (1973). Evapotranspiration of wheat, oats and barley. *Canadian Journal of Plant Science*, *54z*, 23-27. https://doi.org/10.4141/cjps74-004
12. Hussain, G., & Al-Jaloud, A.A. (1998). Effect of irrigation and nitrogen on yield, yield components and water use efficiency of barley in Saudi Arabia. *Agricultural Water Management*, *36*(1), 55-70. https://doi.org/10.1016/S0378-3774(97)00045-0
13. Jenab, M., & Nazari, B. (2019). The study of water productivity and yield gap of wheat, barley and maize in Qazvin province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *49*(6), 1405-1417. https://doi.org/10.22059/ijswr.2018.253566.667865
14. Katerji, N., Mastrorilli, M., Van Hoorn, J.W., Lahmer, F.Z., Hamdy, A., & Oweis, T. (2009). Durum wheat and barley productivity in saline–drought environments. Europ. *Journal of Agronomy*, *31*(1), 1-9. https://doi.org/10.1016/j.eja.2009.01.003
15. Morell, F.J., Lampurlanés, J., Álvaro-Fuentes, J., & Cantero-Martínez, C. (2011). Yield and water use efficiency of barley in a semiarid Mediterranean agroecosystem: Long-term effects of tillage and N fertilization. *Soil and Tillage Research*, *117*, 76-84. https://doi.org/10.1016/j.still.2011.09.002
16. Naghdyzadegan, M., Razzaghi, F., & Zand-Parsa, Sh. (2016). Barley water and nitrogen requirement to increase its sustainable production in semi-arid region. 2nd World Iirrigation Forum, Chiang Mai, Thailand.
17. Pardo, J.J., Martínez-Romero, A., Léllis, B.C., Tarjuelo, J.M., & Domínguez, A. (2020). Effect of the optimized regulated deficit irrigation methodology on water use in barley under semiarid conditions. *Agricultural Water Management*, *228*, 105925. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105925
18. Pirasteh-Anosheh, H., Emam, Y., Kazemeini, S.A., & Dehghany, F. (2017). Effect of irrigation water salinity on soil moisture and salinity during growing season, barley yield, and its water productivity. *Iranian Journal of Soil Research*, *31*(2), 155-166. https://doi.org/10.22092/ijsr.2017.113097
19. Ramezani-Etedali, H., & Ababaei, B. (2016). Estimation of water footprint components in barley production at national and provincial scales. *Iranian Journal of Water Research in Agriculture*, *30*(3), 431-443. https://doi.org/10.22092/jwra.2016.107161
20. Shrief, A.S., & Abd El-Mohsen, A.A. (2014). Effect of different irrigation regimes on grain and protein yields and water use efficiency of barley. *Scientia Agriculturae,* *8*(3), 140-147. https://doi.org/10.15192/PSCP.SA.2014.4.3.140147
21. Sohrabi, Sh. (2015). Barley cultivation program for 2015-2016 for Isfahan Province. Management of Agriculture Affairs, Agricultural Organization of Isfahan Province.
22. Zohary, D., & Hopf, M. (2000). *Domestication of plants in the old world: The origin and spread of cultivated plants in west Asia, Europe, and the Nile Valley*. Oxford University Press. pp. 59–69. ISBN 978-0-19-850357-6